

山口県中央部におけるAso-4・AT・K-Ah火山灰土の 土質工学的性質

山本哲朗*・吉原和彦**・今岡照喜***・得丸景子****

Soil engineering properties of some volcanic ash fall deposits from the central region of Yamaguchi prefecture, Japan

Tetsuro Yamamoto, Kazuhiko Yoshihara, Teruyoshi Imaoka
and Keiko Tokumaru

ま え が き

山口地学会で毎年恒例となっている地質めぐりは、地質・岩石・鉱物にそれほど精通していないが興味のある方々にとっては、非常に意義深い野外研究として受けとめられている。平成10年度には、地質めぐり「山口県中央部の火山灰をたずねて」が10月25日(日)に実施され、われわれも参加した。講師は松尾征二先生で、火山灰の研究では県下で第一人者として知られている。

この地質めぐりでは、第1図に示した4地点(Stops 1~4)において阿蘇4火山灰(Aso-4)、始良Tn火山灰(AT)および鬼界アカホヤ(K-Ah)を採取するとともに、各火山灰の地質年代、分布域および鉱物学的特徴について現地ですばらしい説明を受けた。火山灰についての鉱物学的特徴は、テフラの種類を同定する必要もあり、非常に多くのものについて詳しく調べられている。一方、火山灰が堆積し、その後には風化作用を受けて土状に変質した火山灰土の土質工学的性質はあまり調べられていない。同じ起源の火山灰でも、それが堆積した後に受けた風化過程の差異によって、その土質工

学的性質は地域ごとに変化することが予想される。

本稿では、これら4地点の内で採取することができた火山灰土を対象にして、その土質工学的諸性質をそれぞれの試験によって調べた結果を記述する。

火山灰土の採取地点と概要

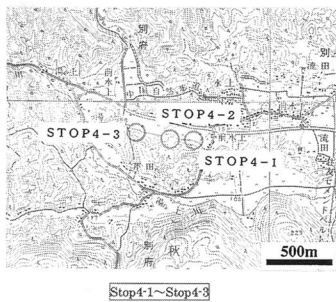
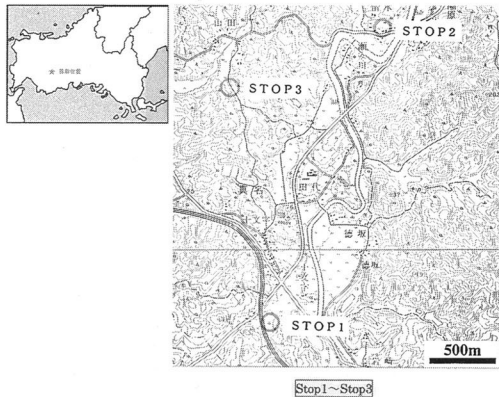
今回火山灰土を採取した地点は第1表および第1図に示すように山口県中央部に位置する。このうち、Stop 1, 2, 3はそれぞれ美東町十文字、清水、山田にあり、中国自動車道に近い。Stop 4-1, 4-2, 4-3は秋芳町芹田でごく近接した位置にあり、中国自然歩道沿線にある。各地点における火山灰土の種類を第1表に示した。

現在まで山口県下で確認されているAso-4, ATおよびK-Ahの露頭総数は144件にも達するが、そのうち山口市で確認されたものももっとも多くて

第1表 採取した火山灰土

地 点	地 名	火山灰土
Stop 1	美東町十文字	Aso 4
Stop 2	美東町清水	Aso 4
Stop 3	美東町山田	Aso 4
Stop 4-1	秋芳町芹田	AT
Stop 4-2	〃	K-Ah
Stop 4-3	〃	K-Ah

* 山口大学工学部
** 常盤地下工業(株)
*** 山口大学理学部
**** 元山口大学工学部学生
2001年3月20日受理



第1図 火山灰土採取位置図

上図 2.5万分の1「秋吉台」, 「湯の口」
 下図 2.5万分の1「長門湯本」, 「於福」,
 「秋吉台北部」, 「秋吉台」

36地点となっている(松尾, 未公表資料)。これら各地点の火山灰の記載は町田 洋・新井房夫著「火山灰アトラス」を参照されたい。第2表にはAso-4, ATおよびK-Ahの3種類の火山灰の地質年代や鉱物学的特徴をまとめた。

Stop 2およびStop 4-3では後述する各種の土質試験が実施できるほど十分な火山灰土が採取できなかった。他の地点で採取した火山灰土試料は同じ場所でもその硬さや色調に明確な差異が見られたので、それにしたがって土試料を細分類した。その結果、第3表に掲げた6試料を土質試験に供した。すなわち、それらはAso-4-1(1), Aso-4-1(2), Aso-4-3(1), Aso-4-3(2), AT-4-1およびK-Ah-4-2である。火山灰名の後の1, 3はStopの番号を、括弧内の1, 2は同じ地点で採取したものの細分類を示す。

第2表 火山灰の種類と特徴

火山灰の種類	地質年代	火山灰の特徴
阿蘇4テフラ (Aso-4)	9~8.5万年前	九州阿蘇カルデラから噴出した大規模火砕流堆積物。九州・中国・四国地方に広く分布。輝石,角閃石を含むデイサイト質火山ガラスからなる。
始良Tnテフラ (AT)	2.5~2.4万年前	南九州始良カルデラから噴出した火砕流と降下火山灰。降下火山灰は、日本列島とその周辺を覆う。フェロハイドパーシオン斑晶を随伴する流紋岩質の透明なバブル型ガラスを含む。
鬼界アカホヤテフラ (K-Ah)	6300万年前	南九州鬼界カルデラから噴出した降下軽石,火砕流堆積物,降下火山灰。九州・南西諸島・四国・本州に分布。輝石を含有するデイサイト質,バブル型の火山ガラス(透明~淡褐色)からなる。

第3表 土質試験に用いた試料とその外観上の特徴

試料	地点	色調	特徴
Aso4-1(1)	Stop 1	黄土色	周辺に炭質存在
Aso4-1(2)	Stop 2	乳褐色	硬くて団粒化
Aso4-3(1)	Stop 3	赤褐色	木の根混入
Aso4-3(2)	Stop 3	乳白色	団粒化,木の根混入
AT-4-1	Stop 4-1	黄土色	団粒化
K-Ah-2	Stop 4-2	茶黒色	木の根混入

注) 実験時には、試料から木の根は除去し、細かくほぐす。

鉱物学的性質

各試料について数g程度を420 μ mふるい上に入れ、十分に水洗した後、必要量をスライドガラス上の上のせて偏光顕微鏡写真を撮った。Aso-4-1(1), Aso-4-1(2), Aso-4-3(1), Aso-4-3(2), AT-4-1およびK-Ah-4-2試料の顕微鏡写真を第2図に示し、鉱物学的な特徴を記述した。また、これらのSEM写真を第3図に示した。

諸土質工学的性質

各試料の土粒子構造を観察し、さらに諸土質工学的性質を地盤工学会の土質試験方法にしたがって調べた。以下に各試験方法と結果を述べる。

1. 土粒子構造

試料表面の土粒子構造を見るために走査型電子顕微鏡(SEM)観察を行った。試料Aso-4-1(1), Aso-4-1(2), Aso-4-3(1), Aso-4-3(2), AT-4-1およびK-Ah-4-2のSEM写真をそれぞれ第3図に示す。倍率500倍で観察したAso-4-3(1), AT-4-1およびK-Ah-4-2の場合には火砕流の土粒子構造が見られ、見かけ上土粒子が大きいことが分かる。一方、倍率3,500倍で観察したその以外の火山灰土では、1 μ m

第4表 各試料の諸土質工学定数

試料	火山灰	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	均等係数UC	最大粒径 D_{max} (mm)	平均粒径 D_{50} (mm)	細粒分 含有率 F_c (%)	粘土分 含有率 F_{clay} (%)	含水比 w (%)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	塑性指数 I_p	土質分類
Aso 4-1(1)	Aso 4	2.567	300*	2.0	0.036	74.4	23.8	104.9	51.1	37.4	13.7	VH ₁
Aso 4-1(2)	Aso 4	2.595	-	2.0	-	94.9	91.1	59.6	61.8	37.2	24.8	VH ₁
Aso 4-3(1)	Aso 4	2.530	850*	2.0	0.15	43.6	19.7	81.4	53.9	42.0	11.9	SV
Aso 4-3(2)	Aso 4	2.555	-	2.0	-	92.3	77.4	49.1	53.9	37.5	16.4	VH ₁
AT-4-1	AT	2.462	325*	2.0	0.097	45.1	19.0	78.8	61.7	24.7	26.4	SV
K-Ah-4-2	K-Ah	2.554	2.6	0.03	0.00058	100	94.0	58.1	53.8	39.6	14.2	VH ₁

* 外挿によって D_{10} を求めた推定値

ないしそれ以下の粒径の板状土粒子が団粒化構造を呈している。また同じ起源をもつAso4火山灰土でもAso-4-1(1), (2)およびAso-4-3(2)の粒子は小さい板状であるのに対して, Aso-4-3(1)は粒子径が大きいことが分かる。

2. 土粒子の密度試験

JIS A 1202にしたがい, 容量50mlのゲーリュサック比重瓶を用いて土粒子の密度 ρ_s を測定し, 第4表に示す結果を得た。この表から各火山灰土の密度は2.4~2.6 g/cm³の範囲にあることが分かる。K-Ah-4-1(黒ぼく)の土粒子の密度2.55g/cm³は, 他の地域での黒ぼくのそれ2.3~2.6 g/cm³の範囲にある(地盤工学会, 2000)。

3. 含水比試験

試料の含水比(w)を110℃の恒温乾燥炉によって測定した。含水比は次式で与えられる。

$$w = m_w / m_s \times 100(\%) \quad (1)$$

ここに, m_w :土試料に含まれる水の質量,

m_s :土試料に含まれる土粒子の質量

各試料の含水比の測定値は第4表に示す。含水比の最も高い試料はAso4-1(1)の104.9%で, 最も低い試料はAso-4-3(2)の49.1%という結果になったが, これは火山灰土の種類はもとより現場における含水状態に影響されて, このように含水比に大きな幅が生じた。

4. pH試験

地盤工学会基準JGS 0211-2000にしたがって土懸濁液のpHを測定した。すなわち乾燥試料に対する水の質量比が5になるように水を加えた後, 30分間放置してpH計を用いて懸濁液のpHを測定した。その結果を第4表に示した。この表からす

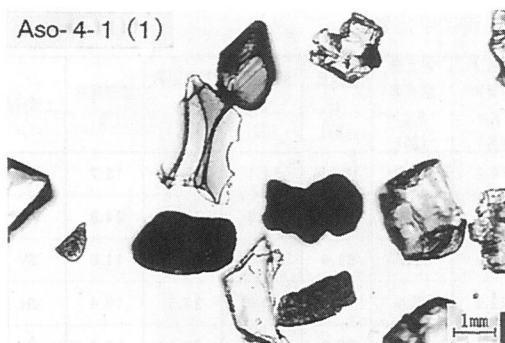
べての火山灰土のpHは4.3~5.9の範囲を示し, 弱酸性からほぼ中性であることが分かる。K-Ah-4-2(黒ぼく)はpH=5.9であるが, 清瀬市の黒ぼくはpH=6.3という結果(地盤工学会, 2000)が得られている。

5. 液性限界・塑性限界試験

土はそれに含まれる水の量が多い状態から減少させてゆくと, その状態が液体→塑性体→半固体→固体に推移する。こういう状態の変化は他の材料には見られない特有な性質である。

第4図に示すように, 土の状態が変移する含水比の境界値を大きい方から順に液性限界 w_L , 塑性限界 w_P , 収縮限界 w_s という。これらをコンシステンシー限界という。

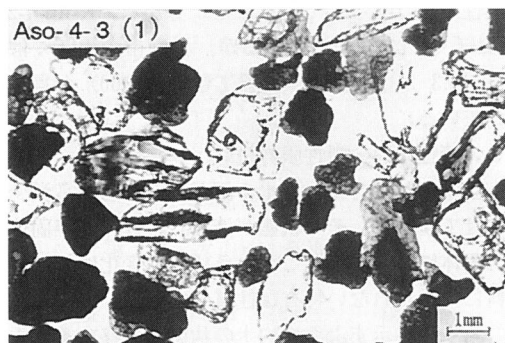
ここでは液性限界・塑性限界試験をJIS A 1205にしたがって測定した。液性限界試験には黄銅皿, 落下装置および硬質ゴム台から構成される液性限界測定器を用いた。試験では425 μ mふるいを通した試料に蒸留水を加えよく練り合わせた後, 黄銅皿に最大厚さが約1cmになるように入れ, 黄銅皿の直径にそって溝切りで溝を切り, 試料を2つにわける。その後, 黄銅皿を落下装置に取り付け, 1秒間に2回の割合で黄銅皿を持ち上げては落とし, 溝の土が長さ約1.5cm合流するまで続ける。溝が合流した時の落下回数を記録し, 合流した付近の試料の含水比を求める。さらに試料に蒸留水を加えた後, 試料をよく練り合わせて同様の操作を繰り返す。試験結果を落下回数N(対数表示)と試料の含水比の図に示し, 両者の関係を直線で表示した時にN=25回での含水比が液性限界を与える。



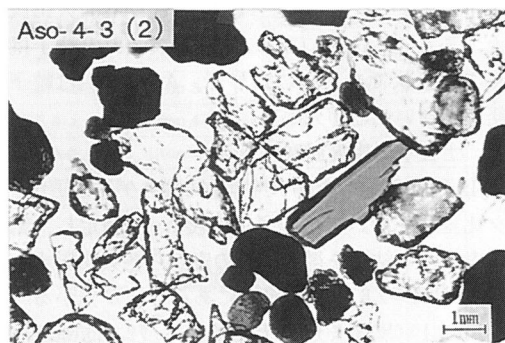
Aso-4-1 (1) 褐色ガラス（バブルウォールタイプ）Y字状になっている。周りの泡が抜けたためこの形になる。褐色のホルンブレンドや普通輝石が見られる。



Aso-4-1 (2) 透明なガラスで、バラバラに破片している。ガラスは角張っており、湾曲したバブルウォールタイプと湾曲した繊維状のものが見られる。



Aso-4-3 (1) 透明なバブルウォールタイプのガラスが存在する。ガラスには、水蒸気の抜けた跡が見られる。他には、褐色の普通輝石が見られる。



Aso-4-3 (2) 透明なバブルウォール型の火山ガラスが存在する。その他に褐色の角閃石、淡褐色の普通輝石、黒色のチタン鉄鉱が見られる。

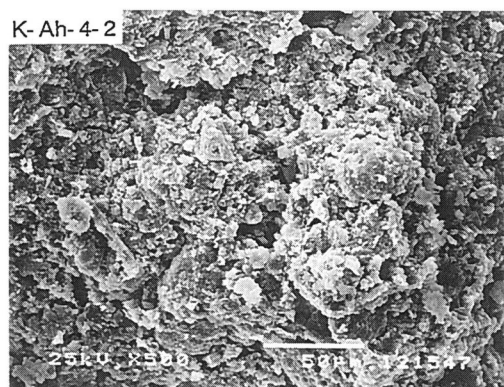
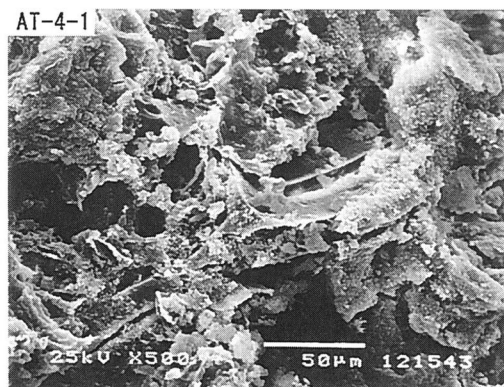
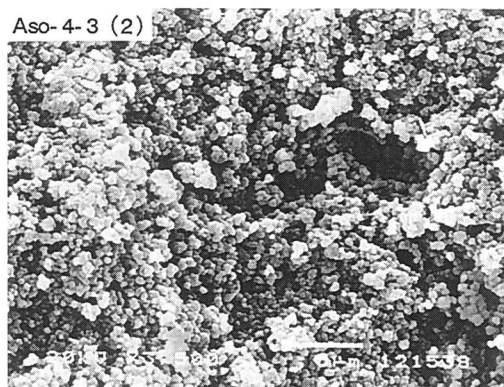
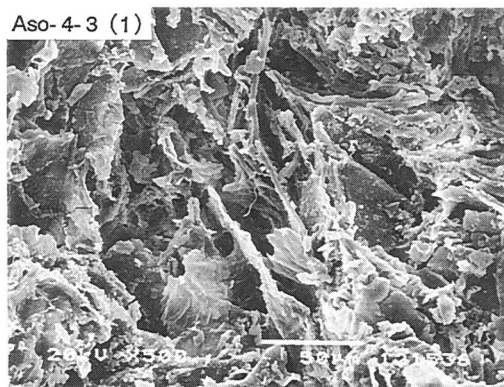
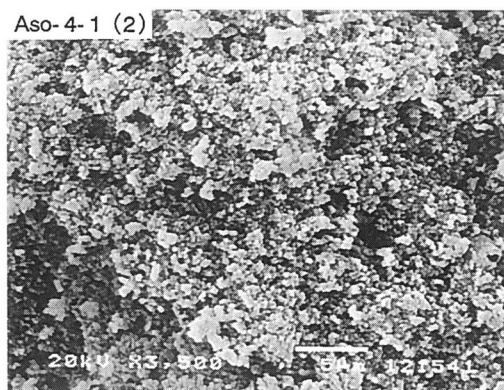
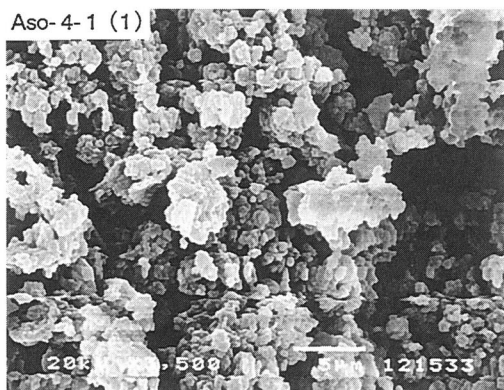


Aso-4-3 (2) では、イルメナイトが多く存在した。AT-4-1透明なバブルウォールガラスで、中央には泡が抜けた穴が楕円形に存在する。穴の直径は約1.0mmである。



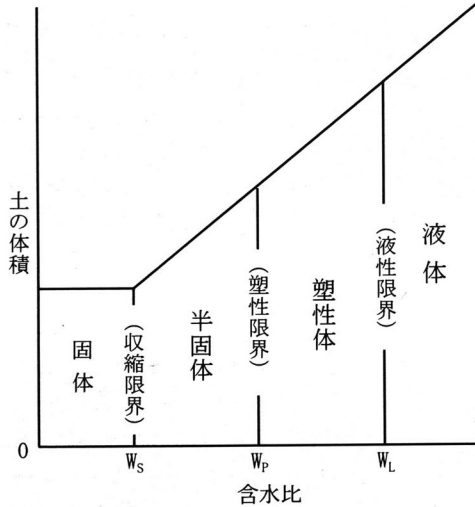
K-Ah-4-2 透明なバブルウォールタイプのガラスの他に、黒色の炭質物と考えられる。

第2図 火山灰土の偏光顕微鏡写真



第3図 火山灰土のSEM写真

塑性限界試験は練り合わせた塊を手のひらとすりガラス板の間で転がしながら直径3mmのひもになった時、再び塊にして同じ操作を繰り返す。



第4図 含水比変化に伴う土の状態変位とコンシステンシー限界

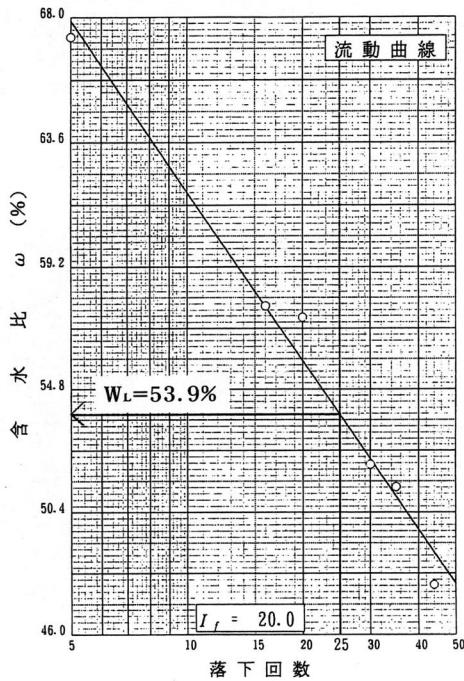
この操作において、土の直径が3mmになった段階で、ひもがきれぎれになった時、その状態の土を集めて含水比を測定する。この時の含水比が塑性限界を与える。

第5図には液性限界試験から得られた含水比と落下回数との関係の2例を示す。(a)図はAso-4-3(1)の場合で、 $W_L=53.9\%$ と求められる。(b)図はK-Ah-4-1の場合で、 $W_L=53.8\%$ となる。両者の結果も含め、すべての試料の液性限界・塑性限界の値を第4表にまとめて示した。この表から同じAso-4火山灰土でも液性限界値に10%程度の違いが見られるが、塑性限界の多くは37%付近に集まっていることが分かる。

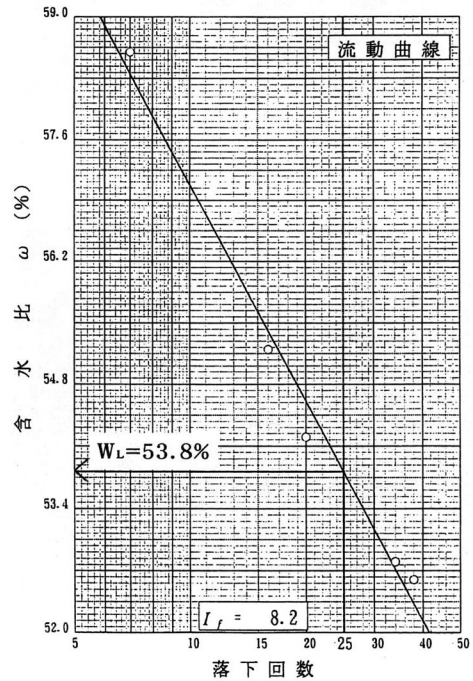
第4表には次式で与えられる塑性指数 I_p も示すが、これは土が塑性を示す含水比の範囲を表す指数である。土工では塑性指数の大きい土は好ましくないとされている。

$$I_p = W_L - W_p \quad (2)$$

第4表から塑性指数はすべてのAso-4の場合、約12~25、ATの場合、26程度、K-Ahの場合には14程度であることが分かる。



(a) 試料 Aso4-3 (1)



(b) 試料 K-Ah-4-2

第5図 試料の液性限界試験結果の一例

6. 粒度試験

土粒子径の分布状況を調べるためにJIS A 1204の規格にしたがって粒度試験を行った。試験方法は1) ふるい分析, 2) 沈降分析の2種類の分析によった。ふるい分析は75 μ mのふるいに残留した土粒子に数段階のふるいを用いて行う。沈降分析は土粒子懸濁液の密度測定による粒度試験で、75 μ mふるいを通過した土粒子に対して行う。沈降分析に当たっては、土粒子間の化学的固結を取り除くには分散剤が用いられるが、本実験ではヘキサメタリン酸ナトリウムを用いた。物理的固結は加水および機械的攪拌によって除去した。

第6図に各試料の粒径加積曲線(粒度曲線)を示す。この図からAso-4-1(2), Aso-4-3(2)およびK-Ah-4-2には非常に細かい土粒子が多く含まれていることが分かる。このうち、特にK-Ah-4-2は前述の規格では有機分が多く含まれて試験できなかったため、レーザ回折式粒度分析計を用いて試験した。そのため粒径0.1 μ mまでの粒径加積曲線が得られている。

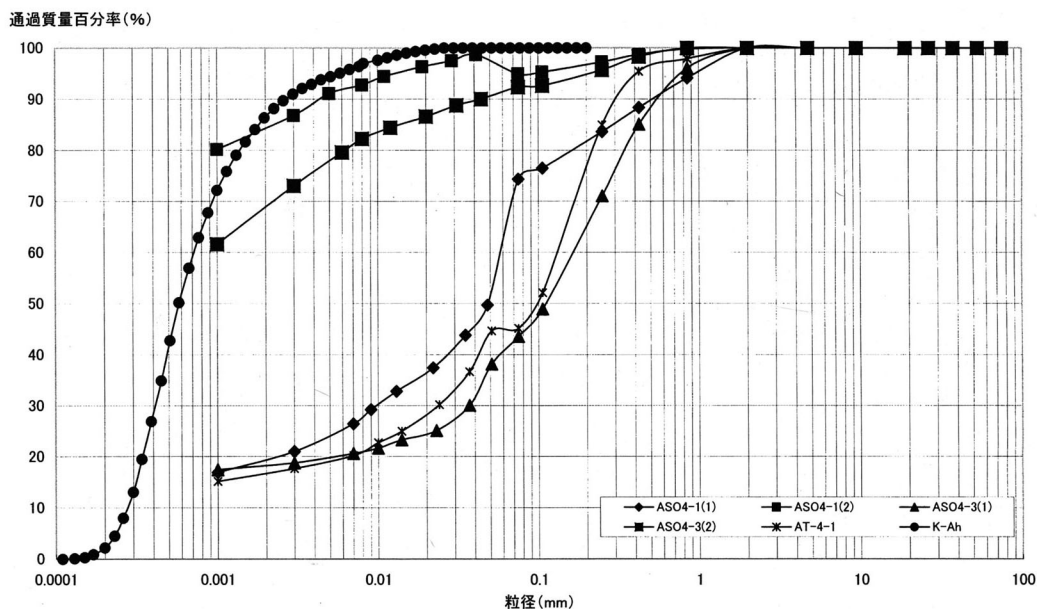
この粒径加積曲線から得られる均等係数 U_c 、最大粒径 D_{max} 、細粒分含有率 F_c (土粒子75 μ m以下の質量百分率)および粘土分含有率 F_{clay} (土粒子5 μ m以下の質量百分率)の値をすべての試料につ

いて第4表に示した。均等係数 U_c は次式で与えられ、この値が大きい場合には土の粒度は良く、逆にこの値が小さい場合には土の粒度は悪いと判定される。

$$U_c = D_{60} / D_{10} \quad (3)$$

ここに D_{10} : 10%粒径, D_{60} : 60%粒径

第4表からK-Ah-4-2は最大粒径0.026mmですべての試料のうちで最も小さく、均等係数は2.6で粒度分布は良くない。これに対してAso-4-1(1), Aso-4-3(1)およびAT-4-1では均等係数は数百で非常に粒度がよい。またこれら3試料の粘土分含有率は20%前後であるのに対して、Aso-4-1(2), Aso-4-3(2)およびK-Ah-4-2では、その含有率は80%弱から90%強にも達しており、同じ種類のAso-4であっても、さらに火山灰土の種類によって粒度特性が著しく異なることが明らかになった。第3図に示したように、Aso-4-3(1)およびAT-4-1には細かい土粒子は認められず、その結果は両試料に含有される粘土分が少ないという結果と一致する。これに対して、第3図に見られるように細かい粒子が多く含まれるAso-4-1(1)で粘土分含有率が23.8%でそれほど大きくないのは、試料の分散が十分でなくて見掛け土粒子径が大きくなり、そのために第6図の粒径加積曲線に見られるよう



第6図 各試料の粒径加積曲線

に、粒子75 μ m以下の沈降分析結果とふるい分析結果には段差があるように思われる。

第4表の最後尾の欄には各試料を土質分類した結果を示したが、これからAso-4-1(1), Aso-4-1(2), Aso-4-3(2)およびK-Ah4-2はVH1(火山灰質粘性土(I型): $W_L < 80\%$)に、Aso-4-3(1)およびAT-4-1はSV(火山灰質砂: 細粒分は主に火山灰質粘性土からなる)に分類されることが明らかになった。

ま と め

平成10年度の地質めぐりの際に案内していただいた山口県中部で採取した6種類の火山灰土試料について特に土質工学的性質を調べた。その試料内訳はAso-4の4試料, ATの1試料, K-Ahの1試料である。得られた結果は次のようにまとめることができる。

- 1) 各試料の土粒子の密度は2.5g/m³前後である。
- 2) K-Ahの最大粒径は0.026mmで非常に小さく、均等係数は2.6で粒度分布は良くない。それ以外の5試料では、均等係数は数百にも達し、粒度分布がきわめてよい。
- 3) 同じAso-4でも含水比、粒度分布、コンシステンシー限界が異なるが、これは地域ごとにAso-4の元々の鉱物組成が相違する他に、風

化の程度の違いによってもたらされたものと考えられる。

- 4) 土質分類では3種類のAso-4およびK-Ah火山灰土はVH1(火山灰質粘性土(I型))に、それぞれ1種類のAso-4およびAT火山灰土はSV(火山灰質砂)に分類された。

謝 辞 本地質めぐりでは、講師の元小郡中学校校長松尾征二先生から現地火山灰について懇切丁寧な説明を受けた。また帰路後は山口県立山口博物館で火山灰の顕微鏡観察の指導を頂いた。本地質めぐりの企画はいつものように、山口県立山口博物館の亀谷 敦氏をはじめ担当委員の方々のお陰で実行された。これらの皆様方に厚く謝意を表します。

文 献

- 地盤工学会, 2000, 土質試験の方法と解説. 改訂編集委員会編, 土質試験の方法と解説(第一回改訂版), 地盤工学会.
- 町田 洋・新井房夫, 1992, 火山灰アトラス, 東大出版会, pp. 276.
- 山口地学会編, 1990, 山口県の岩石図鑑, 第一学習社, pp. 224.